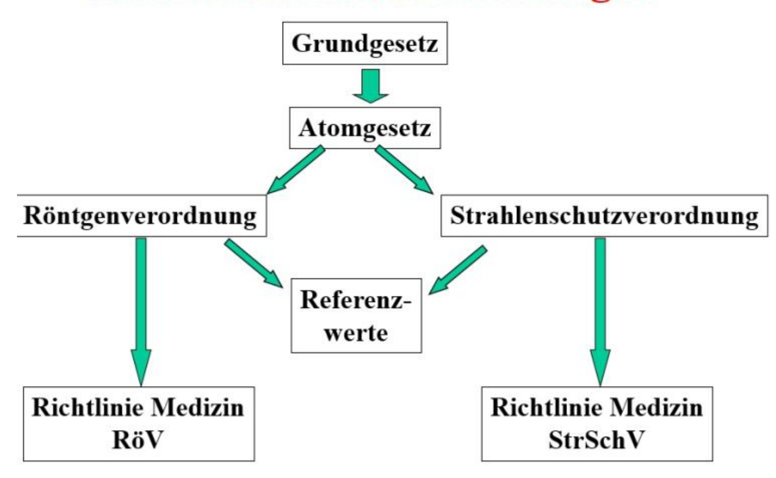
in welchem Gesetzbuch oder Verordnung ist Strahlenschutz?



Dosiemetrie

Sievert (Sv) ist die Einheit der Äquivalentdosis

Energiedosis D - Gesamte absorbierte Strahlungsenergie pro Masseneinheit

- Einheit Gray [Gy] 1 Gy = 1 J/kg

Definition: Die Energiedosis ist die zentrale Größe der Dosimetrie. Sie ist der Quotient aus der in einem Volumen absorbierten Energie (E) und der Masse dieses Volumens (M).

Äquivalentdosis H - **Energiedosis x Strahlungs-Wichtungsfaktor** der vorliegenden Strahlenart

- berücksichtigt biologische Wirksamkeit der Strahlenart

- Einheit Sievert [Sv]

Äquivalentdosis *(„Biologische“ Dosis)*

Für die biologische Strahlenwirkung ist nicht die gesamte absorbierte Energie maßgeblich, sondern auch die Art der Energiedeposition in Materie.

Definition: Die Äquivalentdosis ist das Produkt der Energiedosis D und eines in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Strahlungs-Wichtungsfaktor wR, der die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten berücksichtigt.

Strahlungswichtungsfaktor

Er wird zur vereinfachten Berechnung der Organdosis und damit der effektiven Dosis herangezogen. Der Strahlenwichtungsfaktor hängt von der Strahlungsart und der kinetischen Energie der Teilchen ab.

Strahlungs-Wichtungsfaktor

- Alphastrahlung: 20
- Neutronen: 5-20 (je nach Energie)
- Gamma- und Betastrahlung: 1

Strahlensensible Organe

- Schilddrüse
- Brustdrüse
- Gonaden
- **Rotes Knochenmark**

Auch: Lungen, Magen, Darm

Strahlenbelastung

Mess- und Schutzgrößen Die schädliche Wirkung von radioaktiven Strahlen für den menschlichen Körper ist insbesondere abhängig von dem Ausmaß der übertragenden Energie, der Strahlungsart und der Sensibilität des absorbierenden Organs. Da ihre Auswirkungen wie Zellschädigung und Zelluntergang (= biologische Wirkung) nur schwer direkt messbar sind, wird die wahrscheinliche schädigende Wirkung geschätzt. Unterschieden werden Messgrößen, die zur Abschätzung der Dosis, die auf einen (menschlichen) Körper einwirkt, verwendet werden, von Schutzgrößen, die zur Definition von Grenzwerten herangezogen werden.

Zahnuntersuchungen	**0,02**	**mSv**
Röntgenaufnahmen:		
Schädel	**0,2**	**mSv**
Rippen	**3,0**	**mSv**
Thorax (Lunge)	**0,2**	**mSv**
Bauchraum	**0,3**	**mSv**
Halswirbelsäule	**2,0**	**mSv**
Brustwirbelsäule	**5,0**	**mSv**
Lendenwirbelsäule	**0,4**	**mSv**
Becken	**0,1**	**mSv**
Mammographie (Film-Folien-System ohne Raster)	**1,0**	**mSv**
Computertomographie:		
Schädel	**2**	**mSv**
Thorax (Lunge)	**10**	**mSv**
Bauchraum (Abdomen)	**7**	**mSv**
PET-CT	**12-13**	**mSv**

Ganzkörper-CT	**25**	**mSv**
Angiographie (DSA)		
Herz (Herzkatheter)	**10**	**mSv**
Nieren	**10**	**mSv**
Durchleuchtung		
MDP	**6**	**mSv**
Kolon KE	**3**	**mSv**
Thorax (Lunge)	**1,5**	**mSv**

Strahlenschutzmaßnahmen

Die strenge Indikationsstellung der Anwendung radioaktiver Strahlen ist die wichtigste Maßnahme des Strahlenschutzes

(Die wichtigsten Maßnahmen zum Strahlenschutz sind die Rechtfertigung und Optimierung der Strahlenanwendung!)

- **ALARA-Prinzip**: "**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable" = "So niedrig wie vernünftigerweise erreichbar"
  - Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit von Schutzaufwand und erreichbarer Dosisreduktion
    - Verringerung der Strahlung von außen
      - **Abstand**: Entfernung zur radioaktiven Quelle → Quadratisches Abstandsgesetz
        - Die Energie der radioaktiven Quelle nimmt proportional mit dem Quadrat des Abstands ab (1/r2)
      - **Abschirmung**: Wände, Bleischürze
      - **Aufenthaltsdauer** (Reduzierung der Aufenthaltsdauer auf das notwendige Maß)
      - **Aktivitätsbeschränkung** (Durchführung von Experimenten/Untersuchungen)
      - **Ausschalten**: Ausschalten einer elektrisch betriebenen Strahlenquelle Strikte Vermeidung von Inkorporation (Strahlung von innen) Durch Inhalation oder Inkorporation gelangen die schädlichen radioaktiven Substanzen in direkten Kontakt mit Körperzellen (= Abstand minimal!) → Hohe Strahlendosis!

Die Anordnung einer Untersuchung obliegt der Verantwortung des Arztes, der nach bestem Wissen und Gewissen das Risiko des Patienten gegen dessen Nutzen abwägt.

Jede **Frau** im gebärfähigen Alter muss nach einer möglicherweise bestehenden **Schwangerschaft** befragt. Die Antwort ist schriftlich festzuhalten. Bei nicht auszuschließender Schwangerschaft muss die Indikation besonders streng gestellt werden (ein Schwangerschaftstest bringt hier Sicherheit). Schwangere sollten nicht oder nur in Ausnahmefällen röntgenologisch untersucht werden.

Folgende technische Parameter sind für den Strahlenschutz der Patienten maßgeblich:

- **Optimale Strahlenqualität** (-härte) wird durch entsprechende Filter erreicht. Weiche Strahlung führt zu einer höheren Dosisbelastung als harte Strahlung.
- Verringerung der Feldgröße durch **Einblendung** (Begrenzung des Strahlenkegels durch Blenden)

- **Fokus-Haut-Abstand**: Je größer der Abstand zwischen Strahlenquelle und Haut, umso geringer die Strahlenbelastung.9
- Verkürzung der Expositionszeit.
- Verstärkerfolien von der Filmkassette bei Röntgenaufnahmen vermindern die erforderliche Strahlendosis.
- Regelmäßige Wartung aller technischen Geräte.
- Regelmäßige Überprüfung der Geräte hinsichtlich ihrer Leistung.

Trotz dieser Schutzmaßnahmen ist stets zu beachten, dass die Dosis der bestrahlten Fläche nach dem Flächendosisprodukt immer gleichbleibt.

- Radionuklide mit **kurzer Halbwertzeit** verkürzen die Strahlenexposition in der Nuklearmedizin.
- Strenge **Sicherheitsvorkehrungen** (nicht essen, nicht trinken im Kontrollraum) vermeiden die versehentliche Inkorporation.

Bei **Kindern (Indikationsstellung)**

Die bedeutsamsten Faktoren sind:
- Schwere der tatsächlichen oder vermuteten Erkrankung,
- Einsatzmöglichkeit alternativer Untersuchungsverfahren,
- Ertrag der jeweils in Betracht kommenden Diagnostik,
- Möglichkeiten einer kausalen/symptomatischen Therapie,
- Sicherheit der Einschätzung der Prognose.

Verfahrenswahl. Wann immer möglich, sollten radiologische Untersuchungen durch weniger strahlenbelastende oder alternative Verfahren ersetzt werden. Beispiele sind:

- Schädelsonographie statt Schädelröntgenaufnahmen bzw. CT-Untersuchungen,
- MRT oder Szintigraphie anstatt CT bei Untersuchungen der Wirbelsäule bzw. des Spinalkanals,
- Sonographie der Nieren und Harnwege statt AUG, MCU bzw. statische Nierenszintigraphie,
- Endoskopie statt einer Magen-Darm-Passage bzw. einem Kolon-Kontrasteinlauf.

Falls radiologische Untersuchungsverfahren eingesetzt werden, sollten einfache Röntgenuntersuchungen immer einer strahlenbelastenden Diagnostik (Durchleuchtung, CT) vorausgehen. Zum Beispiel kann eine aktuelle Thoraxaufnahme eine CT überflüssig machen. Meist ist bereits die Verlaufsbeurteilung konventioneller Aufnahmen ausreichend.

Eine CT-Untersuchung des Abdomens ist nur in sehr wenigen Fällen indiziert. Fast immer sind einfache Übersichtsaufnahmen und die Sonographie ausreichend zur Entscheidung für das weitere Vorgehen, z. B. konservative Behandlung oder chirurgischer Eingriff.
Besonders streng muss auch die Indikation zu lang dauernden und damit sehr strahlenbelastenden Röntgendurchleuchtungen (z. B. Herzkatheteruntersuchungen, Enteroklysma, interventionelle radiologische Eingriffe) gestellt werden, da bei diesen Untersuchungen die Patientendosis auf beträchtliche Werte ansteigen kann. Bei der radiologischen Diagnostik kommt es auf den gezielten Einsatz, die richtige Auswahl und Reihenfolge der Untersuchungsverfahren an. **Strahlenexposition.**
Die Strahlenexposition des Patienten wird durch 4 Faktoren bestimmt:
- Röntgengerät (Generator, Röhrentyp, Blende, Belichtungsautomatik etc.),
- Aufnahmetechnik,
- bildempfangendes System,
- Bildverarbeitung.

Bei Röntgendurchleuchtungen ist der Untersucher von entscheidender Bedeutung für die Patientendosis, da er die Untersuchungszeit und das durchstrahlte Volumen bestimmt. Für die Erfassung der Dosis in der Röntgendiagnostik ist neben der Eintrittsdosis (µGy) die Feldgröße (durchstrahltes Volumen) entscheidend

Strahlenschutzmaßnahmen bei Kindern:

- **HODEN: → Hodenkapsel**
- **Ovarialmaske**. Bei **Mädchen** können an der Blende einschiebbare Ovarialmasken oder ab dem 4. Lebensjahr **Ovarialschilde**, die auf den Unterbauch gelegt werden, verwendet werden.
- **Abdeckung der Feldgrenzen.** In der Kinderradiologie ist die Abdeckung der Organe nicht nur an der unteren, sondern auch an der oberen Feldgrenze von Bedeutung, um auch andere strahlensensible Organe wie z. B. die Brustdrüsen oder das rote Knochenmark der Schädelknochen zu schützen. Nur mit der patientennahen Bleigummiabdeckung kann eine Abschirmung gegen unerwünschte direkte Strahlung erreicht werden.
- **Kompression**. Eine weitere Möglichkeit, die Patientendosis zu reduzieren, ist die Kompression, weil dadurch das Patientenvolumen verringert wird. Ein erwünschter Nebeneffekt ist, dass durch bessere Fixierung des Patienten die Bewegungsunschärfe reduziert wird.

Schutz beruflich strahlenexponierter Personen

Definition: Als beruflich strahlenexponiert gilt, wer bei seiner Arbeit mehr als die für die Bevölkerung zulässige Dosis von 1 mSv im Jahr erhalten kann. Nach der Höhe der möglichen Strahlenexposition unterscheidet man Personen der **Kategorien A** und **B**

- **A – Kategorie im Überwachungsbereich (über 6 mSv pro Jahr möglich):**

Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A (§ 54 Abs. 1 StrlSchV und § 31 Nr. 1 RÖV) dürfen im Kontrollbereich Aufgaben nur dann wahrnehmen, wenn sie innerhalb eines Jahres vor Aufnahme ihrer Tätigkeit untersucht wurden und regelmäßig in jährlichem Abstand vom ermächtigten Arzt, i.d.R. ein Arzt für Arbeitsmedizin oder Betriebsmedizin, untersucht bzw. nachuntersucht werden.

- **B – Kategorie im Überwachungsbereich (über 1 mSv pro Jahr möglich):**

Die Untersuchung von Personen der Kategorie B ist nur auf Anforderung der Behörden, oder wenn die Filmdosimeter eine Belastung anzeigen, erforderlich.

Körperdosis	*alle beruflich Strahlen-exponierten (Kategorie A und B)*	*Personen der Kategorie B*	*gebärfähige Frauen*	*Minderjährige*
effektive Dosis (mSv/Jahr)	20	6		1
Organdosen (mSv/Jahr)				
▪ Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark	50			
▪ Augenlinse	150	45		15
▪ Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre	150			
▪ Schilddrüse, Knochenoberfläche	300			
▪ Haut, Hände, Unter-arme, Füße, Knöchel	500	150		50
Gebärmutter			2 mSv/Monat	
ungeborenes Kind			1 mSv insgesamt	
Berufslebensdosis	400 mSv			

Für **beruflich strahlenexponierte Personen** beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr

Organdosen pro Jahr:

1. Augenlinse 150 mSv

2. Haut, Hände, Unterarme, Füße und Knöchel 500 mSv,

3. Keimdrüsen, Gebärmutter und Knochenmark 50 mSv,

4. Schilddrüse und Knochenoberfläche jeweils 300 mSv,

5. Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nummer 3 genannt, 150 mSv

Für **Personen unter 18 Jahren** beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 1 mSv im Kalenderjahr.

Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 15 mSv,

für Haut, Hände, Unterarme, Füße und Knöchel jeweils 50 mSv im Kalenderjahr.

Abweichend von den Sätzen 1 und 2 kann die zuständige Behörde für Auszubildende und Studierende im Alter zwischen 16 und 18 Jahren einen Grenzwert von 6 mSv für die effektive Dosis, 45 mSv für die Organdosis der Augenlinse und jeweils 150 mSv für die Organdosis der Haut, der Hände, der Unterarme, der Füße und Knöchel im Kalenderjahr festlegen, wenn dies zur Erreichung des Ausbildungszieles notwendig ist

Bei **gebärfähigen Frauen** beträgt der Grenzwert für die über einen Monat kumulierte Dosis an der Gebärmutter 2 mSv. Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung der Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 mSv

Strahlenschutzbereich	*effektive Dosis*
Sperrbereich	> 3 mSv/Stunde
Kontrollbereich	> 6 mSv/Jahr
Überwachungsbereich	> 1 mSv/Jahr
allgemeines Staatsgebiet	< 1 mSv/Jahr

Sperrbereich: > 3 mSv/h

Kontrollbereich: > 6 mSv/Jahr

Überwachungsbereich: >1 mSv/Jahr

Dosisgrenzwerte

die maximal tolerierbare Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt 20 mSv im Jahr und 400 mSv für ein gesamtes Arbeitsleben. Der Dosisgrenzwert für die allgemeine Bevölkerung liegt bei 1 mSv per annum

Gibt es Grenzwerte für Patienten?

Für Patienten gibt es sinnvollerweise keine Grenzwerte, da zum Beispiel in der Strahlentherapie relativ hohe Dosen benötigt werden, um Tumorgewebe erfolgreich abzutöten. Es gilt aber immer das „ALARA-Prinzip".

Stochastische & Deterministische Strahlenschäden

1. Akute Strahlenschäden (Deterministische Strahlenwirkung, Strahlungs-Frühschäden)

Akute Strahlenschäden können nach einer Strahlenexposition mit hohen Dosen (über zirka 500 Millisievert, mSv) innerhalb kurzer Zeit (Tage oder Wochen) auftreten, zum Beispiel nach einem Unfall. Zu den akuten Strahlenschäden zählen unter anderem.

- das Erythem der Haut (Rötung, verbrennungsähnliche Erscheinungen),
- Haarausfall,
- Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit
- Anämie.

Bleibt die Strahlendosis unter einem gewissen Schwellenwert, tritt zwar kein akuter Frühschaden auf, spätere stochastische Schäden sind jedoch nicht ausgeschlossen. Für die meisten akuten Strahlenschäden liegt dieser Schwellenwert über 500 mSv.

Akute Strahlenschäden werden auch deterministische Strahlenwirkungen genannt. Sie sind in der Regel die Folge einer massiven Abtötung von Zellen in einem Organ- oder Gewebesystem, das aufgrund seines natürlichen Verschleißes auf einen dauernden Zellnachschub aus dem Stammzellenvorrat des Körpers angewiesen ist. Dazu gehören insbesondere:

- die Haut,
- die Haare
- das Epithel des Magen-Darmtraktes.

Überschreitet das Ausmaß der Zellabtötung in einem Gewebe oder Organ eine gewisse Höhe, so ist die Funktion des betroffenen Organs oder Gewebes eingeschränkt. Ist die Schwellendosis überschritten, nimmt die Schwere des Schadens mit der Dosis zu und je höher die Dosis ist, desto früher tritt der Schaden ein. Die Begriffe "akut" und "chronisch" beschreiben den Krankheitsverlauf eines Früh- oder Spätschadens. Ein typisches Beispiel für einen Spätschaden aufgrund einer deterministischen Strahlenwirkung ist die Störung der Lungenfunktion aufgrund einer Fibrose.

2. Stochastische Strahlenschäden

Die Zelle teilt sich, vererbt aber die veränderte DNS an die Tochterzellen weiter. Die Folge sind **stochastische Strahlenschäden**. Sie treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erst Jahre oder Jahrzehnte nach der Exposition auf. Für sie gibt es vermutlich keine Schwellendosis; die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines solchen Schadens ist proportional zur Dosis. Die Höhe der Dosis beeinflusst dabei nicht die Schwere der Erkrankung, sondern nur die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens. Die stochastischen Strahlenschäden sind entscheidend bei niedrigen Dosen und für die Abschätzungen des Strahlenrisikos im Strahlenschutz. Sie haben ähnliche Auswirkungen wie zufällige, spontan entstehende DNS-Veränderungen, zum Beispiel Zell-*Transformationen*, die zu Krebs führen, *Mutationen* und Erbkrankheiten, oder auch teratogene Effekte.

NOCHMAL

- Deterministisch

Bei deterministischen Strahlenschäden nimmt die Schwere des Schadens mit der Dosis zu und in der Regel besteht ein Schwellenwert. Deterministische Schäden sind z. B. Hautrötung oder Haarausfall.

- Stochastisch

Zufallsbedingt. Bei stochastischen Strahlenschäden hängt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis ab. Die Schwere des stochastischen Strahlenschadens ist dagegen von der Dosis unabhängig.

Natürliche Strahlenexposition

Die mittlere Strahlendosis pro Jahr und Einwohner beträgt in Deutschland ca. 4,2 mSv. Regional schwankt sie zwischen 2 und 6 mSv. Sie setzt sich zusammen aus der natürlichen Strahlenexposition und der zivilisatorischen Strahlenexposition.
Die **natürliche Strahlendosis**, der jedes Lebewesen ausgesetzt ist, beträgt in Deutschland ~2,4 mSv/Jahr. Sie setzt sich im Wesentlichen aus drei Komponenten zusammen:

1. einer **extraterrestrischen Komponente**, der sog. Höhenstrahlung von ~ 0,3 mSv pro Jahr. Aus dem Weltall kommend wird sie durch die Atmosphäre geschwächt und nimmt dementsprechend bei einem Aufenthalt in größerer Höhe zu (Gebirge, Jetflug). Sie ist abhängig von der Höhe des Ortes: Zugspitze z.B. 1,2 mSv / Jahr.

2. einer **terrestrischen Komponente** von ~ 0,5 mSv pro Jahr, die einerseits von strahlenden Mineralien (z.B. uranhaltigem Gestein etc.) andererseits von der Inkorporation von in Luft und Nahrungsmitteln enthaltenen Isotopen stammt (14C, 40K, 222Ru).
Sie ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit - einige ***Beispiele***:
Niedersachsen 0,38 mSv/Jahr
Odenwald (Katzenbuckel) 5,5 mSv/Jahr
Schwarzwald (Menzenschwand) 18 mSv/Jahr
Brasilianische Atlantikküste 87 mSv/Jahr (!)
Kerala, Indien 26 mSv/Jahr (!)
Bei der terrestrischen Komponente sind inzwischen auch vom Menschen
bewirkte Anteile, wie medizinische Strahlenexposition, Fallout aus Kernwaffen, Reaktorunfällen etc. hinzuzurechnen.

3. Aufnahme von natürliche radioaktiven Stoffen: 1,6 mSv pro Jahr. Hier hauptsächlich durch Inhalation von Radon: 1,3 mSv / Jahr.

Alle drei Komponenten sind stark ortsabhängig und können auf der Erde zwischen ca. 1 mSv und 20 mSv pro Jahr schwanken. In unserem Bereich beträgt der addierte Wert der natürlichen Strahlenexposition ~ 2,4 mSv pro Jahr. Eine große Beachtung hat in den letzten Jahren die Belastung durch radioaktives Radongas gefunden, das ein Folgeprodukt des Uranzerfalls ist. Je nach Lage, Bauart, Entlüftung etc. eines Gebäudes können durch Radon Lungenoberflächendosen von bis zum 20 mSv/Jahr verursacht werden.